

오늘 OT만 하진 ... 안겠지?

TA → 민지원 jwmin0724
e-mail

과제는 책 연습문제에서 (Pathria)

Huang 책도 참고해라.

Goldenfeld → phase transition.

Kardar → 여기서도 문제 나뉘어 있음.

Thermodynamics 부분은 잘게

과제는 매 주마다 한번.

Thermodynamics. 라는 게 뭐가?

Equilibrium thermodynamics 라는 것은...

평형 상태 (equilibrium)의 system에서 열과 물질(thermo)의 이동(dynamics)을 "현상론" 적으로 다룬다.

그럼, thermodynamic equilibrium은 뭐가?

시간이 지나도 상태 변수 (state variable)이 바뀌지 않는 것이다.

그럼, state variable은 뭐가?

말 그대로 system의 거시적인 상태를 나타내는 변수다.

세 가지 성질을 가진다.

① Path independance

State variable의 변화량은 system의 initial state와 final state으로만 결정되며, 그 사이 변화 경로와는 무관하다.

② Macroscopic description

system 전체의 상태를 물똥그려 기술한다.

③ Equation of state

주어진 system에서 각 state variables는 서로 상태 방정식으로 연결되어 있다.

State variable은 특성에 따라 크게 Extensive / Intensive variable 두 가지로 구분된다.

{ Extensive : System Size에 dependent한 규모(extent)를 나타내는 값.
 { Intensive : System Size에 independent한, 세기(intensity)를 나타내는 값.

system을 보는 관점 {

macroscopic → 요소가 셀 수 없을 정도로 많다. 맨눈(?)으로 볼 수 있다.

microscopic → 적은 수의 개별 입자 단위를 본다. 가능한 micro state를 셀 수 있음.

Example : Ideal Gas system.

State variables $\left\{ \begin{array}{l} \text{Extensive : Volume, Entropy, Number of particle} \\ \text{Intensive : Pressure, Temperature, Chemical potential} \end{array} \right.$

Extensive $\longleftrightarrow$ Intensive

$V \longleftrightarrow \text{work} \longrightarrow P$

$S \longleftrightarrow \text{heat} \longrightarrow T$

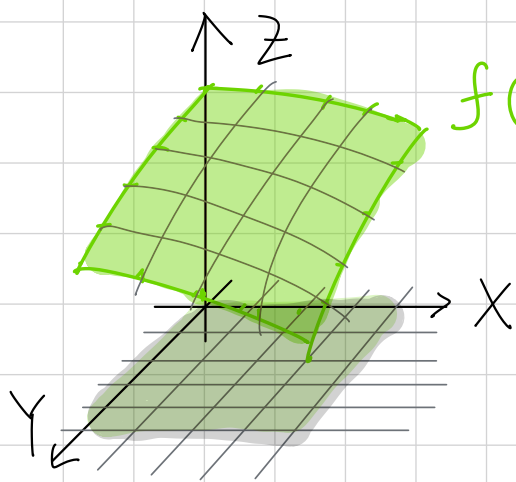
$N \longleftrightarrow \text{Gibbs free energy} \longrightarrow \mu$

Q. 왜 chemical potential μ 를 두고

"partial molar Gibbs free energy" 라고 부르나?

$\longrightarrow$ 옴서디언에 정리 하자.

State space : X, Y, Z 가 state variable, $f(X, Y, Z) = 0$ 이 state equation 일때



$f(X, Y, Z) = 0$

이렇게 존재 가능한 equilibrium 이 이루는 면을
State space 에 나타낼 수 있다.

thermo dynamic process $\longrightarrow$ state variable 이 바뀌는 것.

State space 에서 경로로 나타낼 수 있음.

Quasi equilibrium process $\longrightarrow$ process 중 거치는 모든 상태가 equilibrium state 인 것.

state space 에서 경로가 equation of state plane 에 embed

Reversible process : 반대 방향으로 진행 하는 것도 가능한 process .

quasi equilibrium process 이면서, entropy 변화가 0

이어야 한다.

Three types of thermodynamic system

① Isolated (microcanonical) 물질, 열교환 X

② Closed (canonical) 물질 교환 X, 열교환 O, heat bath 에 연결됨

③ open 물질, 열교환 O

Three laws of thermodynamics.

First law: Energy conservation.

When number of particle is conserved,

다 기호는 일과 열이 State variable 이 아님을 의미

Notation: $dE > 0$ system got energy

$dQ > 0$ system got heat

$dW > 0$ system got work

Q and W are state function 이 아니다.

First law is reversible/irreversible process 를 구분할 수 없다.

What is work?

Reversible process와 irreversible process 는 구분할 수 없다

부호 주의.

$$dW = \underbrace{\mu dN}_{\substack{\uparrow \\ \text{chemical} \\ \text{potential}}} - \underbrace{p dV}_{\substack{\text{3D} \\ \text{work}}} + \underbrace{f dL}_{\substack{\text{1D} \\ \text{work}}} + \underbrace{\gamma dA}_{\substack{\text{2D} \\ \text{work}, \\ \text{tension.} \quad \text{surface} \\ \text{tension.}}}$$

$$+ \underbrace{\phi dq}_{\text{electric}} - \underbrace{B dM}_{\text{magnetic}} - \underbrace{E dp}_{\text{electric dipole}}$$

generalized force.

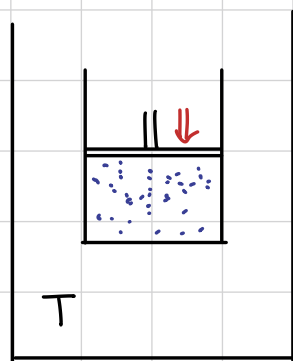
$$dW = \sum_i \underbrace{f_i}_{\substack{\downarrow \\ \text{Intensive} \\ \text{variable}}} \underbrace{dX_i}_{\substack{\rightarrow \text{displacement} \\ \text{extensive} \\ \text{variable}}}$$

Reversible vs Irreversible process

assume a canonical system

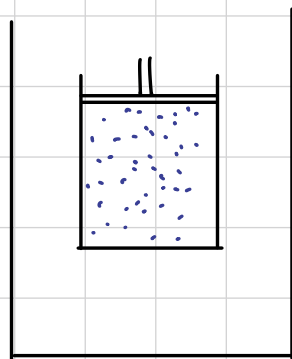
<initial state>

<final state>



force that make
equilibrium
 $f_2 = AP_1$

(P_1, V_1, T)



(P_2, V_2, T)

Example of irreversible process.

힘 f_2 를 갑자기 없앤다. 이 중간 과정에서 상태는 잘 정의되지 않는다.

Internal energy 는 보존 되야 하므로, $\frac{3}{2}Nk_B T = \text{constant}$

Ideal gas equation $PV = Nk_B T$ 로 인해, $P_1 V_1 = P_2 V_2$

또한, $Tds = PdV$ 일 것 이나...

적분 식을 정의할 수가 없다.

Example of reversible process (quasi static)

이제는 적분을 정의할 수 있다.

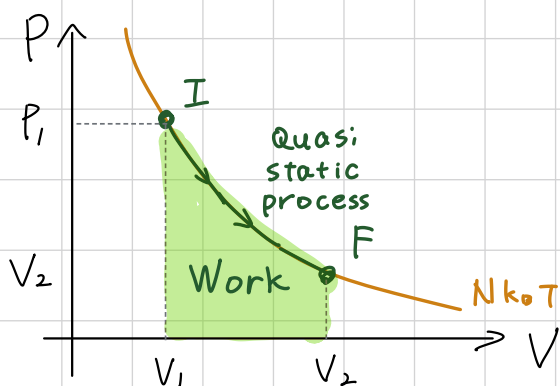
$P = \frac{1}{V} Nk_B T$ 를 이용하여,

$$\Delta W = - \int_I^F P dV = - Nk_B T \int_I^F \frac{1}{V} dV$$

$$\Delta W = Nk_B T \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

$$\text{또한, } \Delta E = \Delta Q + \Delta W = 0$$

$$\Delta Q = - \Delta W$$



Heat capacity of Ideal Gas

$$C_v = \left. \frac{dE}{dT} \right|_v = \frac{d}{dT} \left(\frac{3}{2} N k_B T \right) = \frac{3}{2} N k_B$$

$\frac{E}{N} = \frac{3}{2} k_B T$ 인 이유는 "Equipartition theorem" 때문.

각 자유도에 대한 에너지가 $\frac{1}{2} k_B T$ 를 차지.

3D 에서 공간 이동의 자유도는 3 이다.

(+) 2-atom molecule 이라면?

회전의 자유도가 2 추가.

$$C_v = \frac{5}{2} N k_B$$

